

**Light weight structure**

Patent Number: ☐ EP0987096

Publication date: 2000-03-22

Inventor(s): GOEDTKE PETER (DE); KROEDEL MATTHIAS (DE); PAPENBURG ULRICH (DE)

Applicant(s): ECM INGENIEUR UNTERNEHMEN FUER (DE); INDUSTRIEANLAGEN  
BETRIEBSGES (DE)

Requested Patent: ☐ DE19837768

Application  
Number: EP19990116410 19990820

Priority Number(s): DE19981037768 19980820

IPC Classification: B32B3/12; B32B18/00; C04B38/00; G02B5/08

EC Classification: C04B35/80D, C04B37/00B

Equivalents:

Cited Documents:

---

**Abstract**

---

A lightweight monolithic structure, comprises front and back plates (1, 2) and a support framework (3) of carbon fiber-reinforced silicon carbide or carbon (C/SiC or C/C) ceramic bonded or mechanically joined together. An Independent claim is also included for production of the above lightweight structure, in which the support framework (3) is adhesive bonded between the front plate (1) and back plate (2) using a synthetic resin and the assembly is infiltrated with molten silicon which reacts with part of the carbon to form silicon carbide and produce a rigid permanently bonded monolithic structure.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2





①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenl gungsschrift**  
⑩ **DE 198 37 768 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**C 04 B 35/80**

②1 Aktenzeichen: 198 37 768.1  
②2 Anmeldetag: 20. 8. 1998  
④3 Offenlegungstag: 9. 3. 2000



DE 198 37 768 A 1

⑦1 Anmelder:

ECM Ingenieur-Unternehmen für Energie- und  
Umwelttechnik GmbH, 81539 München, DE;  
Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH, 85521  
Ottobrunn, DE

⑦2 Erfinder:

Goedtke, Peter, 81667 München, DE; Krödel,  
Matthias, 85521 Ottobrunn, DE; Papenburg, Ulrich,  
85658 Eggening, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:

DE	196 36 223 A1
DE	30 18 785 A1
GB	11 67 898
GB	11 26 930
US	36 44 022
US	29 88 959
EP	7 35 387 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Herstellung von hochsteifen Leichtgewichtstrukturen (Meß- u. Spanntische, Meßbänke, Führungsschienen und -bahnen, Maschinenbetten u. -tische) insb. für Meß-, Spann- u. Bearbeitungszwecke aus faserverstärkter Keramik

⑤7 Bei der Herstellung von hochsteifen Leichtgewichtstrukturen werden zur Bildung des Stützgerüsts (3) zwischen einer Frontplatte (1) und einer Rückplatte (2) aus faserverstärkter Keramik rohrförmige und/oder plattenförmige und/oder leistenförmige Teile aus faserverstärktem Kohlenstoff (C/C) oder kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid (C/SiC) aufgestellt und mittels Kunstharz verklebt. Die verbleibenden Leerräume beliebiger Geometrie und Größe bilden dabei entsprechende Hohlräume in der Leichtgewichtstruktur aus. Danach wird diese Anordnung in einen Ofen unter Aufrechterhaltung einer nicht oxidierenden Atmosphäre auf mindestens die Schmelztemperatur von Silicium erhitzt, wobei das geschmolzene Silicium in den Werkstoff infiltriert und zumindest teilweise mit dem angebotenen Kohlenstoff zu Siliciumcarbid abreagiert und nach dem Abkühlen das so erhaltene Stützgerüst mit der Front- und Rückplatte unverrückbar miteinander zu einer monolithischen Leichtgewichtstruktur aus faserverstärkter Keramik verbunden ist.

DE 198 37 768 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine hochsteife Leichtgewichtstruktur, insbesondere für Meß-, Spann- und Bearbeitungszwecke, die zwischen einer Frontplatte (1) aus faserverstärkter Keramik und einer Rückplatte (2) aus faserverstärkter Keramik ein mit diesen Platten unverrückbar verbundenes Stützgerüst (3) aus faserverstärkter Keramik aufweisen, wobei die jeweils für die Front- und Rückplatten und das Stützgerüst ausgewählten keramischen Verbundwerkstoffe, vorzugsweise kohlenstofffaserverstärktes Kohlenstoff (C/C) oder kohlenstofffaserverstärktes Siliciumcarbid (C/SiC), gleiche thermische Ausdehnungskoeffizienten aufweisen, und auf ein Verfahren zur Herstellung einer solchen keramischen Leichtgewichtstruktur in Sandwich-Bauweise mit hoher Steifigkeit. Die Bildung der Verbindung zwischen Frontplatte, Rückplatte und Stützgerüst erfolgt über die Reaktionsinfiltration von flüssigem Silicium in das zuvor geklebte Halbzeug und führt nach der Abkühlung zur Ausbildung einer monolithischen Leichtgewichtstruktur hoher Steifigkeit aus faserverstärkter Keramik, vorzugsweise kohlenstofffaserverstärktes Siliciumcarbid (C/SiC), in Sandwich-Bauweise.

Aus der US-PS 2988959 ist ein Leichtgewichtspiegel in Sandwich-Form bekannt, der aus einer Frontplatte und einer im Abstand zueinander angeordneten Rückplatte besteht, die über im Abstand zueinander angeordnete Rohrstücke unverrückbar miteinander verbunden sind. Die Rohrstücke bilden das Stützgerüst des Spiegels. Als Werkstoffe für die Frontplatte, die Rückplatte und die Rohrstücke wird Glas verwendet. Die Herstellung des Spiegels erfolgt in der Weise, daß die Rohrstücke mittels eines Bindemittels mit der einen Platte und danach in gleicher Weise mit der anderen Platte verbunden werden. Diese bekannten Spiegel sind einfach in ihrem Aufbau, sie besitzen jedoch eine nicht ausreichende Steifigkeit gegen Kräfte, die parallel zur Rückplatte wirken. Außerdem zeigen derartige Kleber im Einsatz Formveränderungen durch chemische Veränderungen und Wasseraufnahme. Derartige Bauteile sind somit nicht langzeitstabil.

Bekannt sind aus der GP-PS 11 67 898 Leichtgewichtspiegel, bei denen die Frontplatte und die Rückplatte über ein Stützgerüst miteinander verbunden sind, das entweder aus Rohrstücken besteht oder aus Abstandsgliedern, die im Querschnitt die Form eines Kreuzes aufweisen. Anstelle der genannten Rohrstücke oder Abstandsglieder mit der Form eines Kreuzes im Querschnitt können auch Abstandsglieder verwendet werden, die durch zusammengesteckte Streifen bestehen, die eine Art Tragrost-Konstruktion aufweisen. Die Leichtgewichtspiegel bestehen aus thermisch kristallisiertem Glas (Glaskeramik), das einen  $\text{SiO}_2$ -Gehalt von bis zu 70 Gew.-% aufweist und dessen andere Hauptbestandteile  $\text{Li}_2\text{O}$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sind. Anstelle dieses thermisch kristallisierbaren Glases hat man zur Herstellung derartiger Leichtgewichtspiegel auch schon hochsilikatische Gläser (Gläser mit einem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt von mindestens 90 Gew.-%, deren thermischer Ausdehnungskoeffizient durch Zugabe von Dotiermitteln, wie beispielsweise  $\text{TiO}_2$ , auf einen Wert eingestellt wird, der dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Quarzglas gleich oder sogar kleiner als dieser ist) verwendet. Solche Spiegel sind im Handel (Prospekt "Low Expansion Materials" der Fa. Corning Glass Works, Corning N.Y., USA, 1969). Nachteilig bei diesen Spiegeln ist eine relativ geringe Steifigkeit und Festigkeit von Glas und Glaskeramik sowie die niedrige Wärmeleitfähigkeit, was bei Temperaturdifferenzen zu Temperaturinhomogenitäten, hohen thermischen Zeitkonstanten und somit lokalen Verformungen im Einsatz führt.

Zur Verbesserung der Querstabilität sind in der GP-PS 11 26 930 Leichtgewichtspiegel beschrieben, bei denen das Stützgerüst aus einer Platte besteht, die mit durchgehenden Bohrungen versehen ist. Als Werkstoff für diese Strukturen wurde für die Spiegelplatte Quarzglas und für das Stützgerüst Quarzglas verwendet. Die Rückplatte besteht dabei ebenfalls aus Quarzglas oder Quarzglas. Nachteilig bei diesem Verfahren ist, daß durch die Verwendung von zwei unterschiedlichen Werkstoffen sogenannte "Bi-Metall-Effekte" innerhalb der Struktur entstehen.

Bekannt sind aus der US-PS 3644022 Leichtgewichtspiegel, bei denen das Stützgerüst aus Y-förmigen Bauelementen gebildet ist, die zu einem honigwabenartigen Stützgerüst hoher Steifigkeit verschweißt sind. Als Werkstoff wurde für diese Struktur siliciumdioxidhaltiges Material verwendet. Die Schweißnähte führen zu entsprechenden Inhomogenitäten in der Struktur.

Die in den letztgenannten Patenten beschriebenen Leichtgewichtspiegel-Ausbildungen besitzen zwar die gewünschte ausreichende Steifigkeit, insbesondere auch Steifigkeit gegenüber parallel zur Rückplatte wirkender Kräfte, jedoch ist ihre Herstellung außerordentlich arbeitsaufwendig und mit großem Risiko in bezug auf eine fehlerfreie Herstellung behaftet. Dies wird deutlich, wenn man bedenkt, daß beim Bohren der Löcher oder beim Verschweißen der das Stützgerüst bildenden Bauteile Sprünge auftreten können.

Aus der DE 30 18 785 G2 ist ein Verfahren zur Herstellung von Leichtgewichtspiegeln bekannt, bei der zwischen einer Frontplatte aus Quarzglas oder hochsilikatischem Glas und einer Rückplatte aus Quarzglas, Quarzglas oder hochsilikatischem Glas ein mit diesen Platten unverrückbar verbundenes Stützgerüst aus Quarzglas, Quarzglas oder hochsilikatischem Glas aufweist, wobei die jeweils für die Platten und das Stützgerüst ausgewählten Werkstoffe gleiche thermische aufweisen. Nachteilig bei diesem Verfahren ist die Verwendung unterschiedlicher Glas-Werkstoffe in Kombination mit Sintermassen anderer Zusammensetzung. Dieses führt zu entsprechenden Struktur-Inhomogenitäten. Außerdem sind Sinterhilfsmittel und darüberhinaus mehrere thermische Behandlungsprozesse notwendig. Ein Großteil der Hohlräume sind mit Sintermasse aufgefüllt, was das Leichtgewicht-Potential wesentlich einschränkt.

Stand der Technik für die zuvor angesprochenen Anwendungen sind auch massive Granit-Platten. Zur Gewichtsreduzierung müssen diese über aufwendige Verfahren und mit speziellen Werkzeugen entsprechend geschliffen werden.

Pulvermetallurgisch hergestellte Keramiken auf der Basis von Aluminiumoxid Siliciumnitrid oder Siliciumcarbid sind aufgrund der erheblichen Schwindung während des Sinterprozesses sowohl in der Bauteilgröße als auch in der minimalen Wandstärke limitiert. Stand der Technik sind bisher nur Größen von <700 mm. Größere Strukturen, auch als Vollblock, haben aufgrund der nicht-linearen Schwindung während der Herstellung immer Risse gezeigt.

Demgemäß hat sich die Erfindung die Aufgabe gestellt, Leichtgewichtstrukturen aus faserverstärkter Keramik in einer Art "Sandwich"-Bauweise mit hoher Steifigkeit und Festigkeit auch beim Auftreten von Querkraften zu schaffen, die einfach und preiswert herzustellen sind und deren Herstellungsverfahren die aufgezeigten Mängel bekannter Herstellungsverfahren für das Stützgerüst nicht aufweisen und darüberhinaus die werkstoffbedingten Nachteile (niedrige Steifigkeit und Festigkeit sowie Wärmeleitfähigkeit u. a.) der Glas- und Glaskeramik-Werkstoffe durch den Einsatz von faserverstärkten Keramiken ausschaltet. Außerdem sieht das erfindungsgemäße Verfahren die Herstellung der Verbindung zwischen Frontplatte (1), Rückplatte (2) und Stützgerüst (3) zu einer monolithischen Sandwich-Struktur

in nur einem thermischen Behandlungsschritt und ohne Sinterhilfsmittel vor. Damit besteht die monolithische Leichtgewichtstruktur aus faserverstärkter Keramik im Vergleich zum Stand der Technik insgesamt nur aus einem homogenen Werkstoff mit gleichen physikalischen Eigenschaften.

Gelöst wird diese Aufgabe für eine Leichtgewichtstruktur der eingangs charakterisierten Art erfindungsgemäß dadurch, daß das Stützgerüst (3) aus plattenförmigen und/oder leistenförmigen und/oder rohrförmigen und/oder T-förmigen und/oder U-förmigen und/oder T-förmigen und/oder Y-förmigen Teilen besteht, die mittels eines Kunstharzes unverrückbar untereinander, einen Hohlraum bildend, verbunden sind, wobei die Front- (1) und Rückplatte (2) einerseits aus dem gleichen Werkstoff wie die platten- und/oder leisten- und/oder rohrförmigen und/oder T-förmigen und/oder U-förmigen und/oder T-förmigen und/oder Y-förmigen Teile der Stützstruktur (3) besteht und andererseits der Kunstharz bei der thermischen Behandlung bzw. Infiltration des geklebten Sandwich-Halbzeugs mit Silicium zu einer monolithischen Struktur ebenfalls zum gleichen Werkstoff, vorzugsweise faserverstärkter Keramik, abreagiert. Durch die Reaktionsinfiltration des geklebten Halbzeugs mit geschmolzenem Silicium kommt es zur Herstellung der homogenen Verbindung zwischen Frontplatte, Rückplatte und dem Stützgerüst und dem entsprechend zur Bildung einer monolithischen Leichtgewichtstruktur aus kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid (C/SiC).

Weitere vorteilhafte Merkmale der erfindungsgemäßen Leichtgewichtstruktur ergeben sich aus den Unteransprüchen und in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen.

Es wurde gefunden, daß faserverstärkte Keramiken auf der Basis von C/SiC und C/C über hervorragende Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften, eine hohe Wärmeleitung, eine niedrige Wärmeausdehnung, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, eine hohe Härte und damit Verschleißbeständigkeit in Kombination mit einer niedrigen Dichte verfügen. Dabei ist es absolut gas- und flüssigkeitsdicht. Darüberhinaus sind faserverstärkte Keramiken im Vergleich zu Glas, Glaskeramiken und pulvermetallurgisch hergestellten Keramiken sehr schadenstolerant und bruchunempfindlich. Besonders hervorzuheben sind die große Geometrie- und Formenvielfalt bis zu Durchmessern von drei Metern. Erfindungsgemäß kann das C/SiC und C/C mit kontinuierlicher Faserverstärkung, mit Filz- oder Vliesverstärkung oder mit Kurzfaserverstärkung auf der Basis von Kohlenstoffasern verstärkt sein. Verstärkungen mit anderen thermisch stabilen Fasern sind im erfindungsgemäßen Gedanken mit-erfaßt.

Das Verfahren zur Herstellung erfindungsgemäßer hochsteifer Leichtgewichtstrukturen ist dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung des Stützgerüsts (3) zwischen einer Frontplatte (1) und einer Rückplatte (2) leistenförmige und/oder rohrförmige und/oder plattenförmige und/oder T-förmige und/oder U-förmige und/oder T-förmige und/oder Y-förmige Teile aus faserverstärkter Keramik, vorzugsweise kohlenstofffaserverstärkter Kohlenstoff (C/C) oder kohlenstofffaserverstärktes Siliciumcarbid (C/SiC), aufgestellt und mittels Kunstharz verklebt, die verbleibenden Leerräume entsprechende Hohlräume ausbilden und danach diese Anordnung in einen Ofen unter Aufrechterhaltung einer nicht oxidierenden Atmosphäre, vorzugsweise Vakuum, auf mindestens die Schmelztemperatur von Silicium (>1405°C) erhitzt, daß geschmolzene Silicium in den Werkstoff infiltriert bzw. penetriert und zumindest teilweise mit dem angebotenen Kohlenstoff der Matrix und der Fasern zu Siliciumcarbid abreagiert und nach dem Abkühlen das so erhaltene Stützgerüst unverrückbar miteinander zu einer monolithi-

schon Leichtgewichtstruktur aus C/SiC verbunden ist. Die Silicium-Infiltration mit der damit verbundenen SiC-Reaktion dient zum einen zur Verdichtung des Strukturwerkstoffs und zum anderen zur Fügung der Einzelsegmente zu einer monolithischen Leichtgewichtstruktur. Der beim Zusammenbau der Einzelkomponenten verwendete Kunstharz, vorzugsweise auf Phenolharzbasis mit SiC- und/oder C- und/oder Si-Pulveranreicherungen und/oder Kohlenstoffasern, reagiert vorteilhafterweise bei der thermischen Behandlung vor Erreichen der Schmelztemperatur von Silicium (1405°C) zu einem Kohlenstoff-Silicium-Siliciumcarbid-Mischwerkstoff ab, der eine ähnliche Zusammensetzung wie die verwendeten Strukturelemente hat, sodaß die ehemaligen Füge- bzw. Klebeflächen nach der Silicium-Infiltration die gleichen physikalischen und chemischen Eigenschaften wie der Strukturwerkstoff aus faserverstärkter Keramik aufweist. Es kommt durch die Silicium-Infiltration zur Bildung einer monolithischen Struktur mit absolut homogenen Eigenschaften. Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, daß das zur Infiltration/Reaktion verwendete Silicium den zu infiltrierenden Bauteilen pulverförmig und/oder in Granulatform und/oder als Silicium-Formkörper angeboten wird. Dabei kann erfindungsgemäß das jeweils verwendete Silicium von unten und/oder von oben und/oder im Inneren des zu infiltrierenden Bauteils angeboten werden.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens ergeben sich aus den Verfahrensunteransprüchen. Anhand der Fig. 1 bis 6 werden erfindungsgemäße hochsteife Leichtgewichtstrukturen und deren Herstellung beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 einen Vertikalschnitt durch eine erfindungsgemäße hochsteife Leichtgewichtstruktur.

Fig. 2 einen Horizontalschnitt durch das Stützgerüst der hochsteifen Leichtgewichtstruktur nach Fig. 1 entlang der Ebene A-B.

Fig. 3 einen Vertikalschnitt durch eine Anordnung zur Herstellung einer erfindungsgemäßen hochsteifen Leichtgewichtstruktur.

Fig. 4 einen Ausschnitt eines Horizontalschnitts durch die Anordnung nach Fig. 3 in der Ebene C-D.

Fig. 5 entsprechende Vertikalschnitte durch Anordnungen zur Herstellung von erfindungsgemäßen hochsteifen Leichtgewichtstrukturen.

Fig. 6 die Draufsicht auf eine Anordnung zur Herstellung einer erfindungsgemäßen hochsteifen Leichtgewichtstruktur.

Wie aus der Fig. 1 ersichtlich, besteht die erfindungsgemäße hochsteife Leichtgewichtstruktur aus einer Frontplatte (1) und einer Rückplatte (2), die über ein Stützgerüst (3) unverrückbar miteinander verbunden sind. Das Stützgerüst besteht, wie aus Fig. 2 hervorgeht, aus rohrförmigen Teilen (4), die mittels eines Kunstharzes vor der thermischen Behandlung mit der Front- und Rückplatte verbunden sind und einen Hohlraum (6) bilden, um das Gewicht der Leichtgewichtstruktur möglichst gering zu halten. Im Anschluß daran wird dann das aus Frontplatte (1), Rückplatte (2) und Stützgerüst bestehende Halbzeug in einem Ofen unter Sauerstoffausschluß, vorzugsweise Vakuum, auf mindestens die Schmelztemperatur von Silicium (>1405°C) erhitzt. Das geschmolzene Silicium infiltriert bzw. penetriert dann in die Gesamtanordnung und reagiert zumindest teilweise mit dem angebotenen Kohlenstoff zu Siliciumcarbid ab. Diese Siliciuminfiltration bzw. Reaktion dient auch zur Herstellung der Verbindung zwischen Front- und Rückplatte sowie dem Stützgerüst (3) zu einer monolithischen Struktur. Der Querschnitt und die Größe des Hohlraums (6) kann erfindungsgemäß kann je nach Anwendung beliebig (z. B. rund, viieleckig, sechseckig) sein und ist erfindungsmäßig miterfaßt. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Rückplatte (2) oder

die Seitenwände (7) mit Entlüftungsbohrungen (8), wie aus Fig. 1 ersichtlich, zu versehen. In dem Ausführungsbeispiel ist die Frontplatte (1), die Rückplatte (2) und das Stützgerüst (3) aus kurzfaserverstärktem C/SiC hergestellt. In analoger Weise können als Werkstoff für die Front- und Rückplatte sowie die rohrförmigen oder plattenförmigen Teile des Stützgerüsts auch C/C-Verbundwerkstoffe mit Kurzfaserverstärkung oder faserverstärkter Keramiken mit kontinuierlicher Faserverstärkung auf der Basis von C/C und C/SiC verwendet werden.

Anhand der Fig. 3 und 4 wird nachfolgend eine zweite Möglichkeit zur Bildung einer hochsteifen Leichtgewichtstruktur aus faserverstärkter Keramik beschrieben. Anstelle der rohrförmigen Teile sind bei diesem Ausführungsbeispiel für die Herstellung des Stützgerüsts (3) platten- bzw. leistenförmige Teile aus faserverstärkter Keramik (C/C und/oder C/SiC) zwischen die Front- und Rückplatte aus faserverstärkter Keramik (C/C und/oder C/SiC) aufgestellt und verklebt worden. Nach Verbinden des so hergestellten Stützgerüsts (3) mit der Frontplatte (1) und der Rückplatte (2) entsteht dann, wie im Zusammenhang in Fig. 1 und 2 beschrieben, durch die Infiltration mit flüssigem Silicium sowie die Reaktion zu Siliciumcarbid eine hochsteife Leichtgewichtstruktur in monolithischer Bauweise. Dabei kann der Querschnitt des platten-/leistenförmigen Stützgerüsts, die Abstände zwischen den Leisten und die Winkelanordnung der Stützleisten beliebig variieren. Das erfinderische Verfahren sieht auch eine Kombination von rohrförmigen und leistenförmigen und plattenförmigen Stützstrukturen zwischen Front- und Rückplatte vor. Selbstverständlich können die Front- und Rückplatte sowohl plan als auch sphärisch ausgebildet sein. Die Stützkonstruktion muß dann vor dem Zusammenbau zum Halbzeug bzw. vor der Infiltration zum keramischen monolithischen Bauteil entsprechend mechanisch bearbeitet werden.

In Fig. 5 sind entsprechende Vertikalschnitte durch mögliche Anordnungen zur Herstellung von erfindungsgemäßen hochsteifen Leichtgewichtstrukturen mit einem U-förmigen, Y-förmigen, T-förmigen und T-förmigen Stützgerüst (3) zwischen Front(1) und Rückplatte (2) abgebildet.

Fig. 6 zeigt die Draufsicht auf eine Anordnung zur Herstellung einer erfindungsgemäßen hochsteifen Leichtgewichtstruktur mit zylinderförmigem Stützgerüst (3) zwischen der Front- (1) und Rückplatte (2). Diese hochsteife Leichtgewichtstruktur aus faserverstärkter Keramik in monolithischer Sandwich-Bauweise mit den Abmessungen  $1200 \times 1100 \times 60 \text{ mm}^3$  dient beispielsweise als Laser-Meßtisch.

Wie sich aus den Figurenbeschreibungen ergibt, läßt sich das Stützgerüst von erfindungsgemäßen hochsteifen Leichtgewichtstrukturen und damit die Leichtgewichtstruktur selbst in einfacher Weise und aus einfachen Bauteilen und damit preiswert herstellen, ohne daß bei der Herstellung des Stützgerüsts Risse auftreten können.

#### Patentansprüche

1. Leichtgewichtstrukturen mit einer Frontplatte (1), einer Rückplatte (2) und einem Stützgerüst (3), wobei diese Teile aus keramischem Material bestehen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Frontplatte (1), die Rückplatte (2) und das Stützgerüst (3) aus kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid (C/SiC) oder kohlenstofffaserverstärktem Kohlenstoff (C/C) bestehen und keramisch oder mechanisch miteinander verbunden sind und eine monolithische Struktur bilden.
2. Leichtgewichtstrukturen, insbesondere für Meß-, Spann- und Bearbeitungszwecke, die zwischen einer

Frontplatte (1) aus faserverstärkter Keramik und einer Rückplatte (2) aus faserverstärkter Keramik ein mit diesen Platten unverrückbar verbundenes Stützgerüst (3) aus faserverstärkter Keramik aufweisen, wobei die jeweils für die Platten und das Stützgerüst ausgewählten keramischen Verbundwerkstoffe, vorzugsweise kohlenstofffaserverstärkte Kohlenstoffe (G/C) oder kohlenstofffaserverstärkte Siliciumcarbid (C/SiC), gleiche thermische Ausdehnungskoeffizienten aufweisen, dadurch gekennzeichnet, daß das faserverstärkte Stützgerüst (3) aus leisten- und/oder platten- und/oder rohrförmigen und/oder T-förmigen und/oder U-förmigen und/oder T-förmigen und/oder Y-förmigen Teilen besteht, die mittels eines Kunstharzes und/oder mechanisch über Schrauben oder Bolzen aus faserverstärkter Keramik unverrückbar untereinander, einen Hohlraum beliebiger Geometrie und Größe bildend, verbunden sind und in einem Temperaturprozeß bei Temperaturen von  $>1405^\circ\text{C}$  unter Sauerstoffausschluß über die Flüssigsilizierung mit Silicium zu einem monolithischen Bauteil zusammensiliziert und somit gefügt werden.

3. Leichtgewichtstrukturen nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Frontplatte (1), die Rückplatte (2) und das Stützgerüst (3) jeweils aus einem oder mehreren C/C- und/oder C/SiC-Segmenten im Halbzeug aufgebaut sind und dieses Halbzeug über die Infiltration mit Silicium bei Temperaturen von  $>1405^\circ\text{C}$  zu einer monolithischen Struktur aus faserverstärkter Keramik, vorzugsweise kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid, zusammensiliziert wird.

4. Leichtgewichtstrukturen nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Front- (1) und Rückplatte (2) und das Stützgerüst (3) vor der Silizierung aus faserverstärkter Keramik, insbesondere kohlenstofffaserverstärktem Kohlenstoff (C/C) bestehen und durch die Flüssigsilizierung mit Silicium bei Temperaturen zwischen  $1400^\circ\text{C}$  und  $2100^\circ\text{C}$  zu einem monolithischen Bauteil aus kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid (C/SiC) infiltriert und abreagiert werden.

5. Leichtgewichtstrukturen nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Stützstruktur (3) zwischen der Front- (1) und Rückplatte (2) aus leisten- und/oder platten- und/oder rohrförmigen und/oder T-förmigen und/oder U-förmigen und/oder T-förmigen und/oder Y-förmigen Teilen besteht, welche in Abhängigkeit von Anzahl, Größe und Abstand zwischen einander entsprechende Hohlräume beliebiger Geometrie zwischen der Front- und Rückplatte ausbilden und somit die Leichtgewichtung der monolithischen Sandwich-Struktur beeinflussen.

6. Leichtgewichtstrukturen nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Frontplatte (1) und/oder die Rückplatte (2) auf ihrer der Stützstruktur (3) zugekehrten Oberfläche eine Klebe- oder Sinterschicht aufweist, die aus Phenolharz und/oder Kohlenstoffpulver (Ruß oder Graphit) und/oder Silicium und/oder Siliciumcarbid und/oder Kohlenstoffasern oder einer Mischung daraus gebildet ist, wobei sich die Klebe- oder Sinterschicht bei der thermischen Behandlung mit Flüssigsilizierung zu Siliciumcarbid oder kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid umwandelt und somit die gleiche oder eine ähnliche Zusammensetzung und Eigenschaften wie die Front- und Rückplatte oder Stützstruktur aufweist.

7. Verfahren zur Herstellung einer Leichtgewicht-

struktur nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Frontplatte (1) aus C/C, eine Rückplatte (2) aus C/C und ein Stützgerüst aus C/C (3) unverrückbar miteinander verbunden werden, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung des Stützgerüsts (3) zwischen einer Front- (1) und einer Rückplatte (2) leistenförmige Teile und/oder plattenförmige Teile und/oder rohrförmige und/oder T-förmigen und/oder U-förmigen und/oder T-förmigen und/oder Y-förmigen Teile aus C/C oder C/SiC aufgestellt und die Kontaktflächen mit einem Kunstharz zusammengeklebt und damit das Halbzeug zusammengehalten wird, danach diese Anordnung in einem Ofen unter Aufrechterhaltung einer nicht oxidierenden Atmosphäre auf mindestens die Schmelztemperatur von Silicium ( $>1405^{\circ}\text{C}$ ) erhitzt, daß Silicium in die Struktur penetriert und zumindest teilweise mit dem angebotenen Kohlenstoff zu Siliciumcarbid abreagiert und nach dem Abkühlen das so erhaltene Stützgerüst (3) mit der Frontplatte (1) und der Rückplatte (2) unverrückbar zu einer monolithischen Leichtgewichtstruktur hoher Steifigkeit bestehend aus kohlenstoffaserverstärktem Siliciumcarbid (C/SiC) verbunden wird.

8. Verfahren zur Herstellung einer hochsteifen Leichtgewichtstruktur nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zur Infiltration und Reaktion des Halbzeugs bei dem thermischen Prozeß zur Verfügung gestellte Silicium als Pulver und/oder als Granulat und/oder als Silicium-Formkörper der Leichtgewichtstruktur von innen und/oder von außen insbesondere von oben und/oder unten, angeboten wird.

9. Verfahren zur Herstellung einer hochsteifen Leichtgewichtstruktur nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leichtgewichtstrukturen aus faserverstärkter Keramik eine kontinuierliche Faserverstärkung aus Geweben und/oder eine Kurzfaserverstärkung und/oder eine Filz bzw. Vliesverstärkung aufweisen und diese Faserverstärkungen vorzugsweise aus Kohlenstoffasern besteht.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

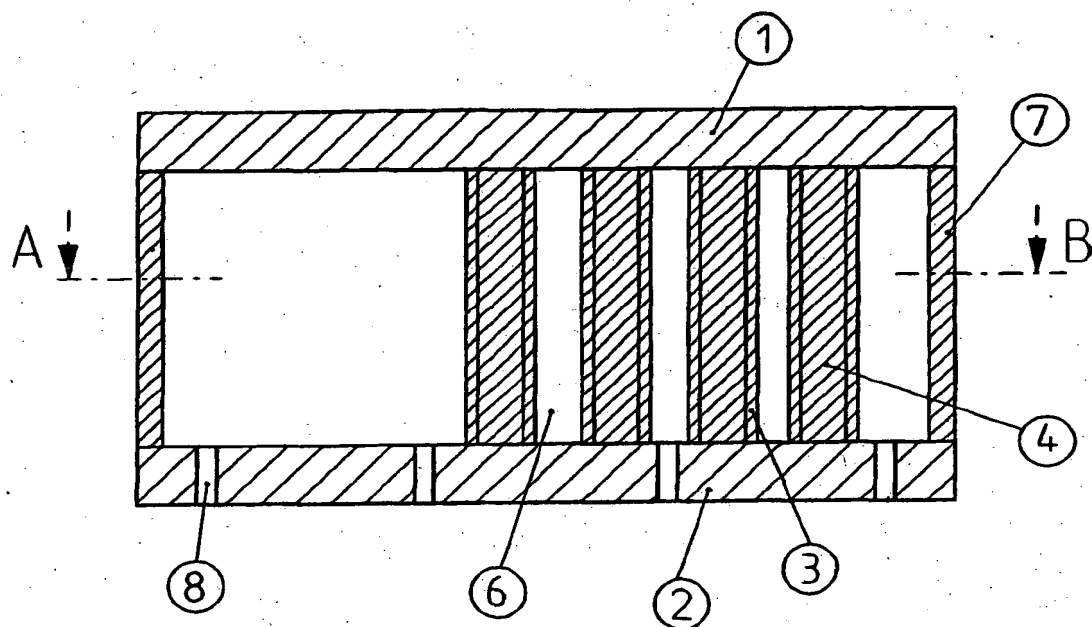
45

50

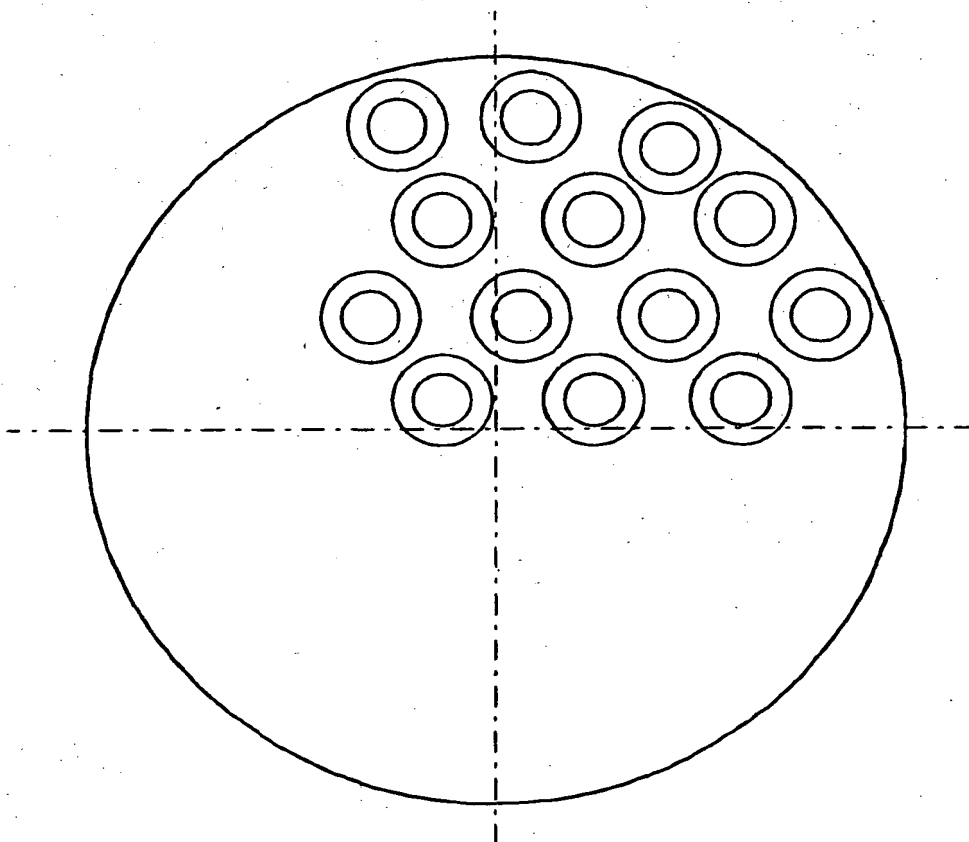
55

60

65

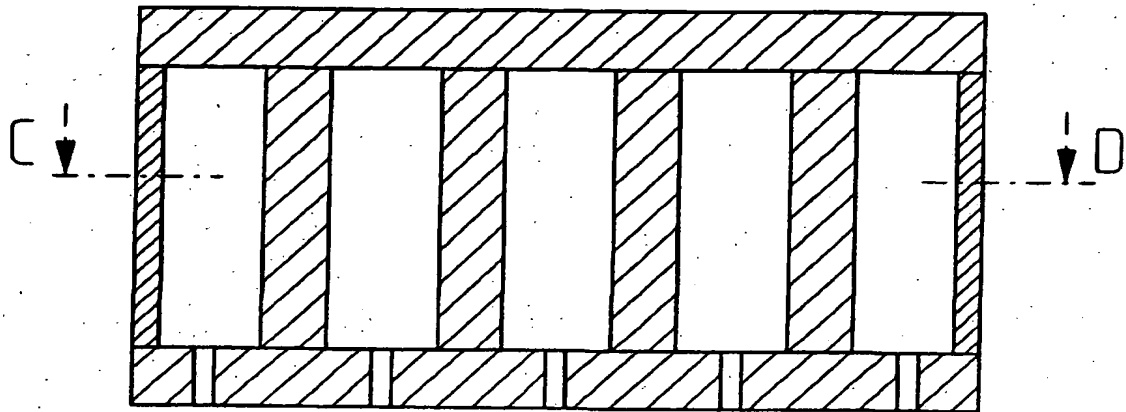


Figur 1

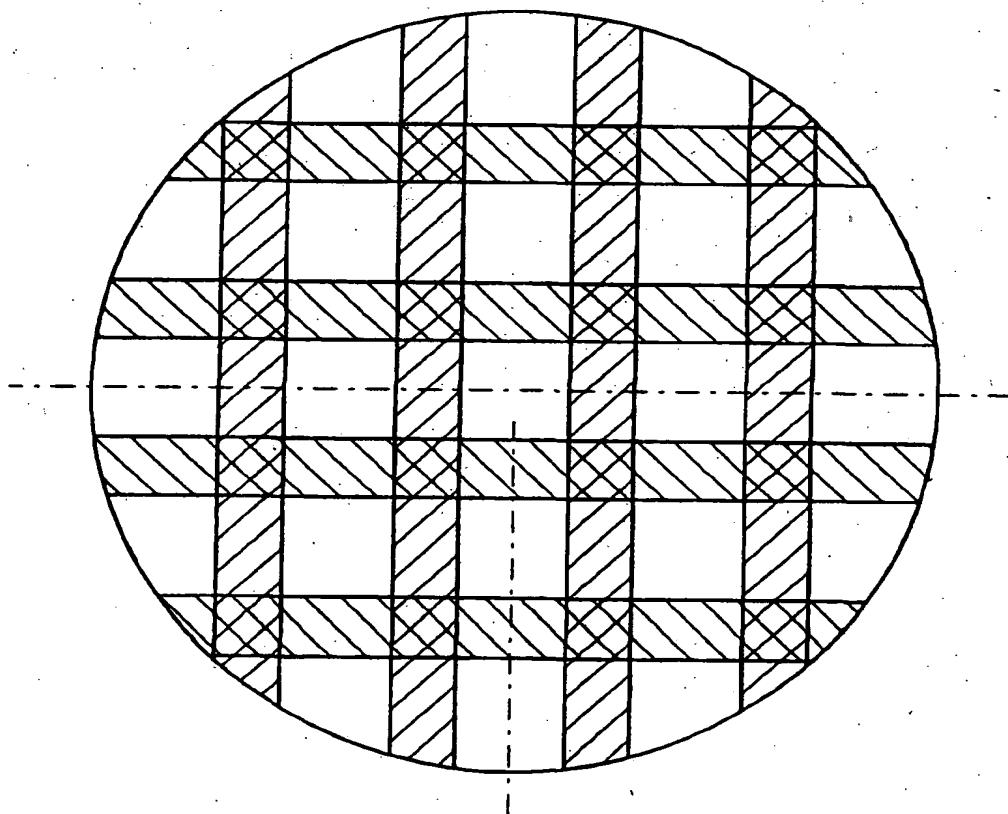


Figur 2





**Figur 3**

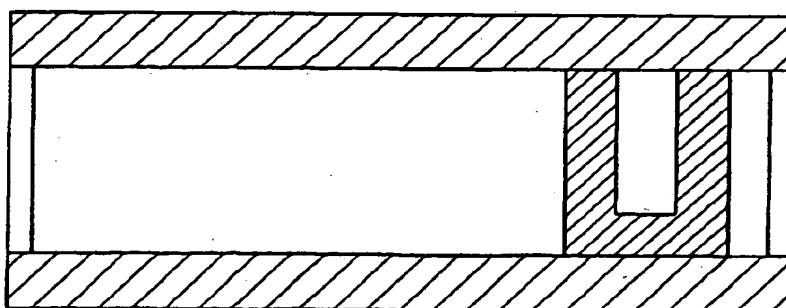
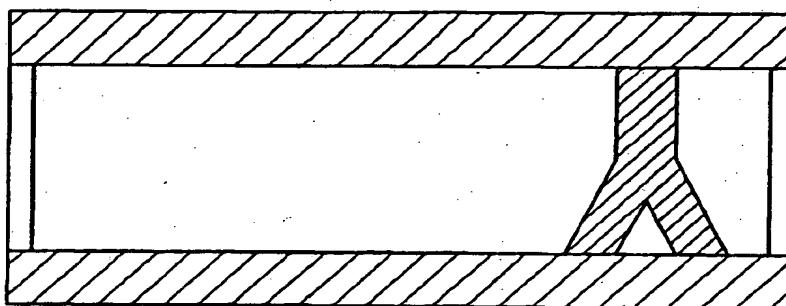
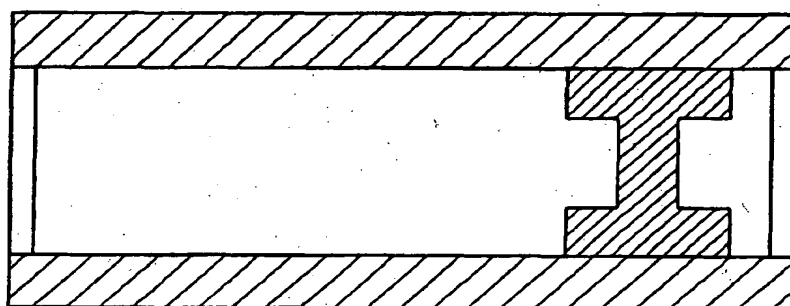
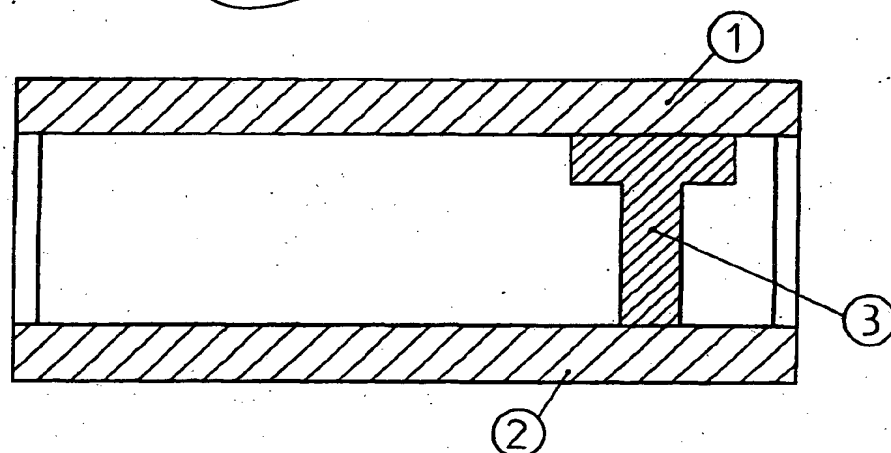


**Figur 4**

3

Nummer:  
Int. Cl. 7:  
Offenlegungstag:

DE 198 37 768 A1  
C 04 B 35/80  
9. März 2000



Figur 5